

1. ま え が き

本報告は、JIS A 1217 土の圧密試験のデータ処理における圧密降伏応力、圧法、曲線定規法について検討したものである。

2. 圧密降伏応力

JISでは、 $e-\log p$ 曲線の曲率最大の点を求め、この点から水平線OCおよび曲線への接線OBを引く。この二つの直線のなす角は二等分線ODと、 $e-\log p$ 曲線の直線部分の延長との交点Eの横座標を p_y とすると規定されている。ラグランジュの補間公式は、微分項を求めることは好ましくないことがあると報告されているので、 $e-\log p$ 曲線に $y=e$ 、 $x=\log p$ としたとき、多項式近似(1)式と三次のスプライン関数近似(2)式について検討した。

$$y = A_1 x^7 + B_1 x^6 + C_1 x^5 + D_1 x^4 + E_1 x^3 + F_1 x^2 + G_1 x + H_1 \quad (1)$$

$$y = A_2 x^3 + B_2 x^2 + C_2 x + D_2 \quad (2)$$

(1)式については、良い結果を示すこともあるが、実験値によっては、誤りつような $e-\log p$ 曲線を描くことがある。(2)式の三次のスプライン関数による近似は、なめらかな $e-\log p$ 曲線を描けるようである。しかし、最大曲率の点は実験値(予点)と一致する。良好な(1)式の出力と、(2)式の出力とを重ねると、曲率最大付近はほとんど同じであり、目での判断は困難となるようである。また $e-\log p$ 曲線を $y=f(x)$ で近似できるものとするれば、その曲率は(3)式のように表わせる。

$$K_1 = \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

$e-\log p$ 曲線全体にわたって(3)式で曲率を計算することができ、 $e-\log p$ 曲線の e のスケールを変化させても曲率最大の位置は変化しないことも意味している。

また、圧縮指数とは、 $e-\log p$ 曲線または $f-\log p$ 曲線に現われる直線部分の傾度であるが、実験値を結んだものが、関数近似したもの、たとえば(1)または(2)式について微分させたものが判然とし、

3. 圧法

圧密理論では、変形量 d と経過時間 t が、圧密初期の段階で直線関係がある。この直線の1.15倍の傾度を持つ直線と、 $d-\sqrt{t}$ 曲線の交点を平均圧密度90%とする因式解法である。

3.1 直線の検定 直線の検定は、図-1に示すように n 番目までの実験値(0を除く)を用いて最小二乗法で直線式を求め、 $n+1$ 番目の実験値 d_{n+1} と、求めた直線式で計算した計算値 $\overline{d_{n+1}}$ との差が1.5%以上あるとき、1番目からの各目まで直線関係があるものとした。この直線式を求めるには、2点では不確定なので、 n とせよと3とする必要がある。

3.2 t_{90} の算出 3.1で求めた直線の1.15倍の傾度を持つ一次式を(4)式に、 $d-\sqrt{t}$ 曲線と現わした曲線式(三次のスプライン関数近似したもの)を(5)式に示す。

$$d = A_3 \sqrt{t} + B_3 \quad (4)$$

$$d = A_4 \sqrt[3]{t} + B_4 \sqrt[3]{t} + C_4 \sqrt[3]{t} + D_4 \quad (5)$$

(4)、(5)式から d を消去し、 $\sqrt{t}$ とニュートン・ラフソン法で求め、求めたものが t_{90} である。ニュートン・ラフソン法の初期値として、交点に相当する曲線を一次式で近似した $d = A_5 \sqrt{t} + B_5$ と(4)式との連立一次

方程式を任について解き、これを用いれば、短時間の演算で済むようである。

4. 曲線定規法

圧密理論では、平均圧密度を U 、時間係数を T_v とすると次式のように表わされる。

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \quad (6)$$

$$\text{ここに } M = \pi / 2 \cdot (2m+1)$$

U と T_v との関係はニュートン・ラフソン法で求めたのが、表-1 である。平均圧密度 U と算術図鑑に、時間係数 T_v と対数図鑑に描いた曲線群と $d-\log t$ 曲線とを重ね合わせる方法を曲線定規法である。

4.1 t_{50} の算出 理論式の $t=\infty$ のときの沈下量を d_{100} 、 t 時間経過後の沈下量と d とするとき、 U 、 d 、 d_{100} の関係は、次式で表わせる。

$$U = d / d_{100} \quad (7)$$

(7) 式と (6) 式へ代入し、 d について整理すると、

$$d = d_{100} \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \right\} \quad (8)$$

実験では誤差が生じるため、初期補正するようにしている。初期補正值を d_0 とすると、実際の実験の沈下量は、(9) 式のようになる、

$$d = d_0 + d_{100} \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 T_v) \right\} \quad (9)$$

圧密係数 C_v 、経過時間 t 、 n 巻目の荷重段階における供試体の平均高さを $\bar{h}_m$ とすると次式の関係がある。

$$t / T_v = \left(\frac{\bar{h}_m}{2} \right)^2 / C_v = K_2 \quad (10)$$

実験中、 $\bar{h}_m$ 、 C_v は一定としてあるので (10) 式の t / T_v は一定となる。これを (9) 式へ代入すると、

$$d = d_0 + d_{100} \left\{ 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp(-M^2 t / K_2) \right\} \quad (11)$$

未知数は、 d_0 、 d_{100} 、 K_2 の三つであり、一次圧密理論の範囲で3つ以上のデータが必要であることを意味している。 d_0 、 d_{100} 、 K_2 を求めるため、シンプロファス法を用いた。目的関数として、(11) 式で計算した理論値 d_i と実験値 d_{i0} との差、すなわち $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |d_i - d_{i0}|$ とした。第一近似値として、 t_{90} の算出で用いたニュートン・ラフソン法の第一近似値を用い、 d_0 、 d_{100} 、 K_2 の近似値と4回使用すればよい。 $t_{90} / 0.848 = K_2$ である。

収束した K_2 を用いて、 t_{50} を算出すればよい。すなわち $t_{50} = K_2 \times 0.197$ となる。

5. 表す法

(1) $e-\log p$ 曲線の曲率最大の点と求めることは、かなり困難なのである。(1)、(2) 式の微分項は、簡単に求めることができるので、前の委員会案の圧密係数 C_v の求める方法はより簡単である。

(2) 圧法は、図-1 に示したように二次圧密度を含んでいるようである。

(3) 曲線定規法、圧法とち、圧密係数 C_v の値はほぼ同じであるが、圧法の方が約5%小さい値を示すようである。また曲線定規法は、理論値のため、きれいな $d-\log t$ 曲線を描くことができる。

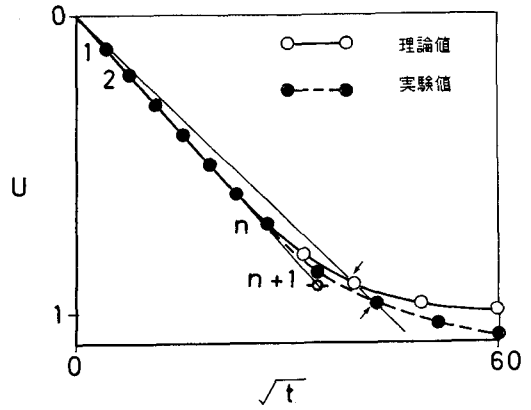


図-1

U	Tv	U	Tv	U	Tv	U	Tv
0.01	0.00008	0.26	0.05309	0.51	0.20478	0.76	0.49327
0.02	0.00031	0.27	0.05726	0.52	0.21302	0.77	0.51052
0.03	0.00071	0.28	0.06158	0.53	0.22145	0.78	0.52854
0.04	0.00126	0.29	0.06605	0.54	0.23008	0.79	0.54739
0.05	0.00196	0.30	0.07069	0.55	0.23891	0.80	0.56716
0.06	0.00283	0.31	0.07548	0.56	0.24795	0.81	0.58795
0.07	0.00385	0.32	0.08042	0.57	0.25721	0.82	0.60986
0.08	0.00503	0.33	0.08553	0.58	0.26670	0.83	0.63303
0.09	0.00636	0.34	0.09079	0.59	0.27643	0.84	0.65760
0.10	0.00785	0.35	0.09621	0.60	0.28640	0.85	0.68376
0.11	0.00950	0.36	0.10179	0.61	0.29663	0.86	0.71172
0.12	0.01131	0.37	0.10752	0.62	0.30713	0.87	0.74175
0.13	0.01327	0.38	0.11341	0.63	0.31792	0.88	0.77419
0.14	0.01539	0.39	0.11946	0.64	0.32901	0.89	0.80946
0.15	0.01767	0.40	0.12567	0.65	0.34041	0.90	0.84809
0.16	0.02011	0.41	0.13204	0.66	0.35215	0.91	0.89079
0.17	0.02270	0.42	0.13857	0.67	0.36424	0.92	0.93852
0.18	0.02545	0.43	0.14526	0.68	0.37670	0.93	0.99264
0.19	0.02835	0.44	0.15211	0.69	0.38957	0.94	1.05512
0.20	0.03142	0.45	0.15912	0.70	0.40285	0.95	1.12901
0.21	0.03464	0.46	0.16630	0.71	0.41659	0.96	1.21944
0.22	0.03801	0.47	0.17365	0.72	0.43081	0.97	1.33604
0.23	0.04155	0.48	0.18117	0.73	0.44554	0.98	1.50037
0.24	0.04524	0.49	0.18886	0.74	0.46084	0.99	1.78129
0.25	0.04909	0.50	0.19673	0.75	0.47673	1.00	∞

表-1